

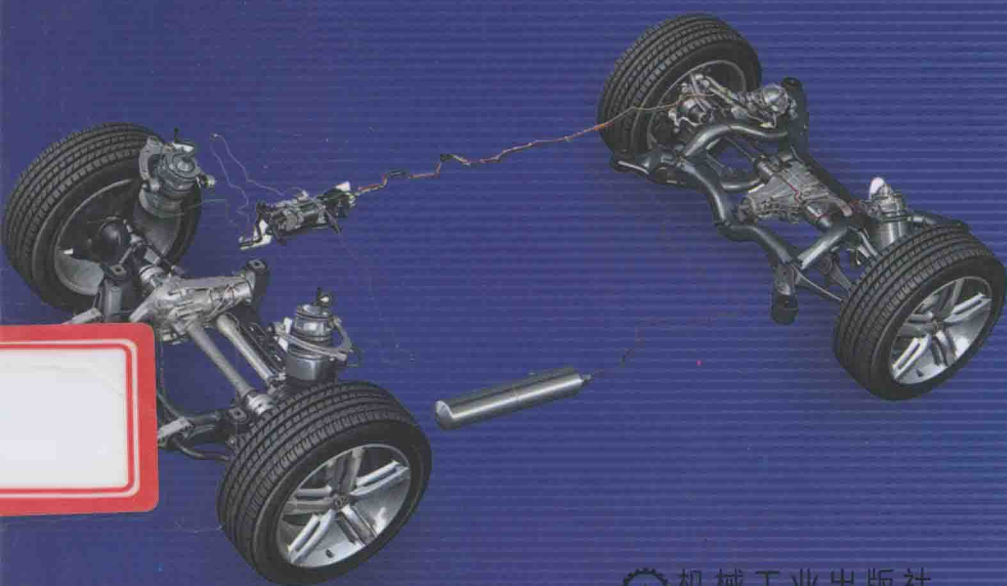
高职高专基于能力本位“十二五”规划教材

# 汽车

## 电工电子技术基础

QICHE DIANGONG DIANZI JISHU JICHU

主 编◎刘春晖 刘宝君 / 副主编◎张斌



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



高职高专基于能力本位“十二五”规划教材

# 汽车电工电子技术基础

主 编 刘春晖 刘宝君  
副主编 张 斌



机械工业出版社

本书将电工技术、电子技术的基本知识与汽车电气设备和汽车电子控制技术等专业课程的内容进行了有机的融合,全面、系统地介绍了8个方面的内容,分别是直流电路、电磁现象及其应用、正弦交流电路、电工测量及安全用电、电动机与发电机、半导体器件及其应用、汽车常用电子电路以及数字电路基础。各章均配有本章小结及思考与练习。

本书通俗易懂,实用性强,学生易学,老师易教,可作为高职高专院校、高级技工院校、技师学院汽车类专业汽车电工电子基础课程教材,也作为广大汽车维修人员自学参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

汽车电工电子技术基础/刘春晖,刘宝君主编. —北京:  
机械工业出版社,2012.6

高职高专基于能力本位“十二五”规划教材

ISBN 978-7-111-38450-2

I. ①汽… II. ①刘…②刘… III. ①汽车—电工—  
高等职业教育—教材②汽车—电子技术—高等职业教育—  
教材 IV. ①U463.6

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第104374号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:连景岩 责任编辑:连景岩

责任校对:肖琳 封面设计:鞠杨

责任印制:张楠

唐山丰电印务有限公司印刷

2012年8月第1版第1次印刷

184mm×260mm·15.5印张·381千字

0001—3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-38450-2

定价:39.80元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010) 68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010) 88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010) 88379203 封面无防伪标均为盗版

# 前 言

随着电子技术和信息技术的飞速发展，电工电子技术已渗透到汽车技术的各个领域。本书作者总结多年的一线汽车电工维修工作经验及多年的汽车电气系统及汽车电子控制系统的教学经验，结合汽车类专业特点编写了此书。

在内容编排上，以电工、电子技术基础知识和汽车电气系统、汽车电子控制系统实际应用相结合为出发点，以能力为本，基本知识点的选取以必需、够用为度，对各种基本概念与基本原理的阐述力求简明扼要。为体现汽车专业特色，本书列举了许多汽车电子电路实例，使学生将电工电子基础知识与汽车专业知识迅速结合，以培养学生分析专业问题和解决实际问题的能力。

通过本书的学习，可以使学生掌握汽车维修必须具备的电工电子基本知识和基本技能，同时培养学生运用电工电子基本知识分析汽车电路及简单电路故障的能力，为后续汽车电类专业课程的学习打下基础。

本书在编写体例上采用简练准确、图文并茂的形式，以求达到直观明了、易读易学的效果。

本书共分8章，包括直流电路、电磁现象及其应用、正弦交流电路、电工测量及安全用电、电动机与发电机、半导体器件及其应用、汽车常用电子电路以及数字电路基础。每章都有本章小结和思考与练习题，便于学生复习巩固。

本书由山东华宇职业技术学院刘春晖、刘宝君任主编，张斌任副主编，参加本书编写工作的老师还有尹文荣、魏金铭、孙长勇、蔡志涛、张薇薇、张文、黄现国、王淑芳、魏代礼、徐伟、李川、于岭岭。

在编写本书过程中借鉴和参考了大量国内外的电工与电子类资料、维修资料和相关书籍，在此向维修资料的作者及编者深表感谢。由于编者水平所限，书中难免有错误和不当之处，恳请使用教材的广大师生、有关专家和广大读者批评指正。

编 者

# 目 录

## 前言

|                 |    |
|-----------------|----|
| 第1章 直流电路        | 1  |
| 1.1 概述          | 1  |
| 1.1.1 电路及电路图    | 1  |
| 1.1.2 汽车电路的特点   | 3  |
| 1.1.3 电路的三种状态   | 3  |
| 1.2 电路的基本物理量    | 5  |
| 1.2.1 电流        | 5  |
| 1.2.2 电压、电位和电动势 | 6  |
| 1.2.3 电阻        | 8  |
| 1.2.4 电能和电功率    | 9  |
| 1.3 欧姆定律        | 10 |
| 1.3.1 部分电路欧姆定律  | 10 |
| 1.3.2 全电路欧姆定律   | 11 |
| 1.3.3 焦耳定律      | 12 |
| 1.4 串联电路与并联电路   | 12 |
| 1.4.1 串联电路      | 12 |
| 1.4.2 并联电路      | 13 |
| 1.5 电阻、电感和电容元件  | 14 |
| 1.5.1 电阻元件      | 14 |
| 1.5.2 电感元件      | 16 |
| 1.5.3 电容元件      | 17 |
| 1.6 基尔霍夫定律      | 21 |
| 1.6.1 基尔霍夫电压定律  | 22 |
| 1.6.2 基尔霍夫电流定律  | 24 |
| 本章小结            | 26 |
| 思考与练习           | 28 |
| 第2章 电磁现象及其应用    | 30 |
| 2.1 磁场的基本知识及物理量 | 30 |
| 2.1.1 磁的基本知识    | 30 |
| 2.1.2 磁场与磁力线    | 31 |
| 2.1.3 磁场的基本物理量  | 32 |
| 2.2 电流的磁效应      | 33 |
| 2.2.1 电流的磁场     | 33 |

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| 2.2.2 安培定则 .....              | 34 |
| 2.3 铁磁材料及磁路 .....             | 36 |
| 2.3.1 铁磁材料 .....              | 36 |
| 2.3.2 磁路 .....                | 38 |
| 2.4 磁场对电流的作用 .....            | 41 |
| 2.4.1 磁场对通电直导体的作用 .....       | 41 |
| 2.4.2 磁场对通电线圈的作用 .....        | 43 |
| 2.4.3 磁场对通电半导体的作用(霍尔效应) ..... | 44 |
| 2.5 电磁感应 .....                | 45 |
| 2.5.1 电磁感应现象及其产生的条件 .....     | 45 |
| 2.5.2 电磁感应定律 .....            | 46 |
| 2.5.3 自感现象 .....              | 47 |
| 2.5.4 互感现象与同名端 .....          | 49 |
| 2.6 涡流与趋肤效应 .....             | 51 |
| 2.6.1 涡流及其利弊 .....            | 51 |
| 2.6.2 趋肤效应及其利弊 .....          | 51 |
| 2.7 变压器 .....                 | 52 |
| 2.7.1 变压器的作用及分类 .....         | 52 |
| 2.7.2 变压器的结构 .....            | 52 |
| 2.7.3 变压器的工作原理 .....          | 54 |
| 2.7.4 几种常用的变压器 .....          | 56 |
| 2.7.5 变压器在汽车上的应用——点火系统 .....  | 58 |
| 2.8 电磁铁和继电器的应用 .....          | 62 |
| 2.8.1 电磁铁 .....               | 62 |
| 2.8.2 继电器 .....               | 63 |
| 2.8.3 继电器在汽车上的应用 .....        | 65 |
| 本章小结 .....                    | 67 |
| 思考与练习 .....                   | 69 |
| 第3章 正弦交流电路 .....              | 71 |
| 3.1 正弦交流电的基本概念 .....          | 71 |
| 3.1.1 正弦交流电的产生 .....          | 71 |
| 3.1.2 正弦交流电的三要素 .....         | 72 |
| 3.2 正弦交流电的表示法 .....           | 75 |
| 3.2.1 解析表示法 .....             | 75 |
| 3.2.2 波形表示法 .....             | 76 |
| 3.2.3 相量表示法 .....             | 76 |
| 3.3 单相正弦交流电路 .....            | 77 |
| 3.3.1 单一参数电路 .....            | 77 |
| 3.3.2 $RLC$ 串联电路 .....        | 79 |

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| 3.3.3 谐振                 | 80  |
| 3.4 三相交流电路               | 82  |
| 3.4.1 三相交流电的产生           | 83  |
| 3.4.2 三相绕组的连接            | 83  |
| 3.4.3 三相负载的连接            | 85  |
| 本章小结                     | 87  |
| 思考与练习                    | 88  |
| 第4章 电工测量及安全用电            | 90  |
| 4.1 万用表的使用               | 90  |
| 4.1.1 指针式万用表             | 90  |
| 4.1.2 数字式万用表             | 94  |
| 4.1.3 汽车万用表              | 97  |
| 4.2 发电、输电和配电             | 99  |
| 4.3 安全用电                 | 100 |
| 4.3.1 电流对人体的作用           | 100 |
| 4.3.2 触电形式               | 101 |
| 4.3.3 触电保护措施             | 102 |
| 4.3.4 安全用电常识             | 104 |
| 4.3.5 电气防雷、防火和防爆         | 104 |
| 本章小结                     | 105 |
| 思考与练习                    | 106 |
| 第5章 电动机与发电机              | 107 |
| 5.1 直流电动机                | 107 |
| 5.1.1 直流电动机的结构           | 107 |
| 5.1.2 直流电动机的工作原理         | 109 |
| 5.1.3 直流电动机的类型与机械特性      | 111 |
| 5.1.4 直流电动机的起动、调速、反转和制动  | 114 |
| 5.1.5 永磁直流电动机在汽车上的典型应用   | 116 |
| 5.2 汽车用三相交流同步发电机         | 120 |
| 5.2.1 三相交流同步发电机的结构       | 120 |
| 5.2.2 交流发电机的发电原理及整流过程    | 124 |
| 5.3 三相交流异步电动机            | 128 |
| 5.3.1 三相交流异步电动机的结构       | 129 |
| 5.3.2 三相交流异步电动机的工作原理     | 131 |
| 5.4 步进电动机                | 133 |
| 5.4.1 永磁转子式步进电动机的结构与步进原理 | 134 |
| 5.4.2 永磁转子式步进电动机的应用      | 135 |
| 5.5 伺服电动机                | 136 |
| 5.5.1 传统直流伺服电动机          | 136 |

|                            |            |
|----------------------------|------------|
| 5.5.2 无刷直流电动机 .....        | 136        |
| 本章小结 .....                 | 137        |
| 思考与练习 .....                | 138        |
| <b>第6章 半导体器件及其应用</b> ..... | <b>140</b> |
| 6.1 半导体基础知识 .....          | 140        |
| 6.1.1 半导体及其特性 .....        | 140        |
| 6.1.2 本征半导体 .....          | 140        |
| 6.1.3 杂质半导体 .....          | 141        |
| 6.1.4 PN 结及其单向导电性 .....    | 142        |
| 6.2 二极管 .....              | 144        |
| 6.2.1 二极管的结构及分类 .....      | 144        |
| 6.2.2 二极管的伏安特性 .....       | 145        |
| 6.2.3 二极管的主要参数 .....       | 146        |
| 6.2.4 二极管的简单测试 .....       | 146        |
| 6.3 汽车上常用的二极管 .....        | 148        |
| 6.3.1 整流二极管 .....          | 148        |
| 6.3.2 稳压管 .....            | 148        |
| 6.4 光电器件 .....             | 150        |
| 6.4.1 发光二极管 .....          | 150        |
| 6.4.2 光敏二极管 .....          | 152        |
| 6.4.3 光敏晶体管 .....          | 153        |
| 6.4.4 光耦合器 .....           | 153        |
| 6.5 晶体管 .....              | 154        |
| 6.5.1 晶体管的结构与类型 .....      | 154        |
| 6.5.2 晶体管的电流分配和放大作用 .....  | 156        |
| 6.5.3 晶体管的特性曲线 .....       | 157        |
| 6.5.4 晶体管的主要参数 .....       | 159        |
| 6.5.5 晶体管的管型和引脚的判别 .....   | 160        |
| 6.5.6 功率晶体管 .....          | 162        |
| 6.6 半导体管的开关特性 .....        | 164        |
| 6.6.1 二极管的开关特性 .....       | 164        |
| 6.6.2 限幅器和钳位器 .....        | 164        |
| 6.6.3 晶体管的开关特性 .....       | 165        |
| 6.6.4 反相器 .....            | 166        |
| 6.7 晶闸管 .....              | 166        |
| 6.7.1 晶闸管的结构 .....         | 167        |
| 6.7.2 晶闸管的工作原理 .....       | 167        |
| 6.7.3 晶闸管的主要参数 .....       | 168        |
| 6.7.4 晶闸管的简单测试 .....       | 169        |

|                              |            |
|------------------------------|------------|
| 本章小结 .....                   | 169        |
| 思考与练习 .....                  | 170        |
| <b>第7章 汽车常用电子电路</b> .....    | <b>172</b> |
| 7.1 整流电路 .....               | 172        |
| 7.1.1 单相半波整流电路 .....         | 172        |
| 7.1.2 单相桥式整流电路 .....         | 173        |
| 7.2 滤波电路 .....               | 175        |
| 7.2.1 电容滤波电路 .....           | 176        |
| 7.2.2 电感滤波电路 .....           | 177        |
| 7.2.3 复式滤波电路 .....           | 177        |
| 7.3 稳压电路 .....               | 178        |
| 7.3.1 硅稳压管稳压电路 .....         | 178        |
| 7.3.2 串联型稳压电路 .....          | 179        |
| 7.3.3 集成稳压器 .....            | 179        |
| 7.4 基本放大电路 .....             | 180        |
| 7.4.1 共发射极放大电路 .....         | 181        |
| 7.4.2 共基极放大电路与共集电极放大电路 ..... | 182        |
| 7.4.3 放大电路的基本分析方法 .....      | 183        |
| 7.4.4 功率放大电路 .....           | 186        |
| 7.5 集成运算放大器 .....            | 187        |
| 7.5.1 集成运算放大器的结构、外形及符号 ..... | 187        |
| 7.5.2 集成运算放大器的主要参数 .....     | 189        |
| 7.5.3 运算放大器的基本运算电路 .....     | 189        |
| 7.5.4 集成运算放大器的使用常识 .....     | 192        |
| 本章小结 .....                   | 192        |
| 思考与练习 .....                  | 193        |
| <b>第8章 数字电路基础</b> .....      | <b>195</b> |
| 8.1 数字电路概述 .....             | 195        |
| 8.1.1 数字信号和数字电路 .....        | 195        |
| 8.1.2 数制和码制 .....            | 196        |
| 8.2 基本逻辑门电路 .....            | 197        |
| 8.2.1 与门 .....               | 198        |
| 8.2.2 或门 .....               | 200        |
| 8.2.3 非门 .....               | 201        |
| 8.2.4 复合逻辑门 .....            | 202        |
| 8.3 集成触发器 .....              | 205        |
| 8.3.1 RS 触发器 .....           | 206        |
| 8.3.2 边沿 JK 触发器 .....        | 208        |
| 8.3.3 边沿 D 触发器 .....         | 210        |

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| 8.3.4 T 和 T'触发器 .....     | 210 |
| 8.4 组合逻辑电路 .....          | 211 |
| 8.4.1 编码器 .....           | 212 |
| 8.4.2 译码器 .....           | 214 |
| 8.5 时序逻辑电路 .....          | 218 |
| 8.5.1 计数器 .....           | 218 |
| 8.5.2 寄存器 .....           | 220 |
| 8.5.3 时序逻辑电路在汽车上的应用 ..... | 222 |
| 8.6 半导体存储器 .....          | 224 |
| 8.6.1 概述 .....            | 224 |
| 8.6.2 只读存储器 .....         | 224 |
| 8.6.3 随机存取存储器 .....       | 226 |
| 8.7 集成电路及在汽车上的应用 .....    | 227 |
| 8.7.1 概述 .....            | 227 |
| 8.7.2 集成运算放大器 .....       | 229 |
| 8.7.3 集成电路在汽车上的应用举例 ..... | 231 |
| 8.7.4 数字集成电路的使用常识 .....   | 233 |
| 本章小结 .....                | 233 |
| 思考与练习 .....               | 234 |
| 参考文献 .....                | 237 |

# 第1章 直流电路

直流电路是指含有直流电源，并且电路各处的电压、电流、电动势等物理量的大小和方向都不随时间变化的电路。直流电路的一些内容已在物理课中学习过，这是学习本章的基础。在此起点上，本章将综合性地讨论电路的基本概念、基本定律和基本分析方法，以便对直流电路有比较完整而系统的认识。直流电路具有典型意义，它的基本概念、基本定律和分析方法也适用于其他电路。

## 1.1 概述

### 1.1.1 电路及电路图

#### 1. 电路的组成

电路是电流经过的路径，一般是由电源、用电器、导线和开关组成的闭合回路。日常生活中的手电筒是一个最简单的直流电路。汽车上的照明系统(见图 1-1)也是直流电路的典型应用。

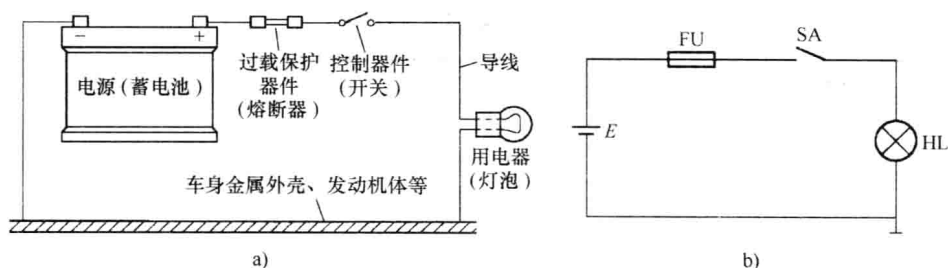


图 1-1 汽车照明装置简图

a) 简单电路 b) 电路图

图 1-2 为倒车信号系统的工作电路。倒车信号器件包括倒车灯和倒车蜂鸣器。倒车灯安装在汽车后组合灯内，倒车灯开关安装在变速器盖上，而倒车蜂鸣器则单独安装。倒车灯和倒车蜂鸣器均由倒车灯开关统一控制。当变速器挂入倒档时，倒车灯开关将倒车灯和倒车蜂鸣器电路接通，使倒车灯点亮，蜂鸣器鸣叫。

电路按作用的不同分为电工电路和电子(信号)电路两大类，它们的作用不同，组成也不同。

电工电路的作用是电能的产生、传输控制和转换，它由电源、用电器、导线和控制开关组成。最能说明问题的例子是汽车照明电路(见图 1-1)，在开关闭合时，蓄电池产生的电能经熔断器、开关、连接导线送给车灯，由车灯转换成热能并以光的形式反映出来，实现了电能的产生、传输控

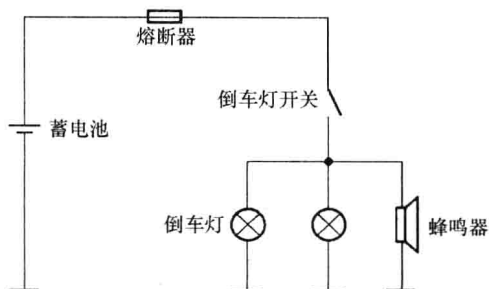


图 1-2 倒车信号系统的工作电路

制和转换。在电路中，蓄电池是提供电能的设备，是电源，它将化学能转换成电能。车灯是使用电能的设备，是负载，也称为用电器，其作用是将电能转换成热能。这一转换是不可逆的，说明电能被消耗掉了，因此车灯是一电阻性负载。开关和连接导线位于电源和负载之间，在电路中起着电能传输和控制的作用。可见，电源、负载、中间环节组成了照明电路，图 1-1b 为其电路模型。

与电工电路不同，电子电路的作用是电信号的产生、处理传输和变换，由信号源、负载和中间环节组成。典型的例子是扩音机电路，其框图如图 1-3 所示。传声器产生的电信号(电压或电流)经放大器处理后传送给扬声器，由扬声器转换为声音，实现了电信号的产生、处理传输和变换功能。在电路中，

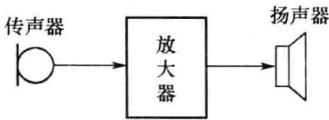


图 1-3 扩音机电路框图

传声器是输出电信号的设备，称为信号源，在电路中它将声音信号变换为电压或电流信号。扬声器是接收和转换电信号的设备，是负载。放大器处于信号源与负载之间，为中间环节，在电路中用来放大电信号。可见，信号源、负载和中间环节组成了扩音机电路。

需要指出的是：电工电路和电子电路是所有电路的代表，它们的作用和组成反映了所有电路的作用与组成情况，了解这一点有助于回答电路的作用和组成问题。

2. 电路图

按照规定，各种电器元件都可以用特定的图形符号和文字符号来表示。部分常用的电器元件符号见表 1-1。

表 1-1 常用电器元件的符号

| 图形符号 | 文字符号   | 名称   | 图形符号 | 文字符号   | 名称     | 图形符号 | 文字符号 | 名称         |
|------|--------|------|------|--------|--------|------|------|------------|
|      | S 或 SA | 开关   |      | C      | 电容器    |      | —    | 连接导线，不连接导线 |
|      | E      | 蓄电池  |      | PA     | 电流表    |      | FU   | 熔断器        |
|      | L      | 线圈   |      | PV     | 电压表    |      | HL   | 照明灯<br>指示灯 |
|      | L      | 铁心线圈 |      | V 或 VD | 二极管    |      | —    | 转速表        |
|      | R      | 电阻   |      | —      | 搭铁     |      | —    | 串励直流电动机    |
|      | RP     | 电位器  |      | —      | 接机壳或接地 |      | —    | 并励直流电动机    |

将实际电路中各个元件用其图形符号表示，这样画出的图形称为实际电路的电路原理图，简称电路图，如图 1-1 所示。

### 1.1.2 汽车电路的特点

#### 1. 两个电源

汽车上的两个电源是指交流发电机和蓄电池两个供电电源。蓄电池是辅助电源，在汽车未运转时向有关电气设备供电；交流发电机是主电源，当发动机运转到一定转速后，交流发电机转速达到规定的发电转速，开始向有关电气设备供电，同时对蓄电池进行充电。两者互补可以有效地使用电设备在不同的情况下都能正常的工作，同时延长了蓄电池的供电时间。

#### 2. 并联单线

汽车上的电源和所有的电气设备均采用并联，即它们正常工作时的电压相同；同时，采用并联时，个别电气设备故障不能正常工作时不影响其他电气设备。每个用电设备都由各自串联在其支路中的专用开关控制，互不产生干扰。单线制是指从电源到用电设备只用一根导线连接，而用汽车底盘、发动机等金属机体作为另一公用导线。由于单线制节省导线、线路清晰、安装和检修方便，且电器也不需与车体绝缘，因此现代汽车均采用单线制，但在一些不能形成可靠的电气回路或需要精确电子信号的回路中采用双线。

#### 3. 网络控制

由于汽车智能化的要求，多数用电设备的工作电流控制已不是由单一的开关信号控制，而大多是由具有一定逻辑关系的多个信号来控制的。这些控制构成一个网络，所以称为网络控制，即用电设备是否工作是由网络控制的。能实现网络控制主要是引入了电控单元(ECU)。它连接着特定部位的传感器，每个传感器提供一路信号。在各种用电设备的工作电流控制中有些信号是共用的，所以汽车上各个电控单元也要靠网络技术来连接。随着汽车电气技术的发展，拟人思维的功能控制需要的信号越来越多，满足的关系越来越复杂，网络结构也在不断发展。目前，汽车车载网络结构在向 CAN 总线制过渡。

#### 4. 低压直流

汽车电系的额定电压有 12V、24V 两种，目前汽油车普遍采用 12V 电系，而中、重型柴油车则多采用 24V 电系。汽车正常运行中的电压，一般 12V 系统的为 14V，24V 系统的为 28V。汽车采用直流系统的原因是汽车发动机要靠电力起动机起动，它是直流串励电动机，必须由蓄电池供电，而向蓄电池充电必须用直流电，所以汽车电系为一直流系统。这主要是从蓄电池充电角度来考虑的。

#### 5. 负极搭铁

采用单线制时，蓄电池的一个电极须接至车架上，俗称“搭铁”，用符号“ $\perp$ ”表示。将蓄电池的负极接车架就称为“负极搭铁”；反之，则称为“正极搭铁”。汽车电系已统一定为负极搭铁。

### 1.1.3 电路的三种状态

电路在使用过程中，由于使用条件的不同会处于不同的状态，归纳起来有通路(有载)、断路(开路)和短路三种状态。每种状态都有自身的特点。

#### 1. 通路

通路状态就是有载工作状态。如图 1-4 所示，开关 S 接通“1”号位置，负载中有电流

通过。在这种状态下,电源端电压与负载电流的关系可用电源的外特性确定。根据负载的大小可分为满载、轻载和过载三种情况。

负载在额定功率下的工作状态叫做额定工作状态或满载。电气设备在额定状态下工作是最经济合理和安全可靠的,并且能保证电气设备的使用寿命。

当负载偏小、实际消耗功率低于额定功率的工作状态叫做轻载。轻载运行,电气设备不能充分发挥效能。

当负载偏大、实际消耗功率高于额定功率的工作状态叫做过载或超载。长时间过载,会缩短电气设备的使用寿命。严重过载,会使电气设备很快烧毁。

## 2. 断路

断路就是电源或电路某处断开,电路中没有电流流过。如图 1-4 所示,开关“S”接通“2”号位置,电路中没有电流流过,电源不向负载输送电能。对于电源来说,这种状态叫做空载。断路的主要特点是:电路中的电流为零,电源端电压和电动势相等。

断路可以分为控制性断路和故障性断路。控制性断路是根据需要利用开关将处于通路状态的电路断开;故障性断路是一种突发性、意想不到的断路状态。例如,在汽车电路中,电源与负载之间的连接线松脱,负载与导体的金属部分接触不良,都会引起断路故障。所以,在接线时要牢固可靠,尽量避免断路故障发生。

在汽车电路发生断路故障时,通常用试灯或万用表(直流电压档)去寻找电路的断路点,如图 1-5 所示。方法是将试灯一端(或电压表负表笔)接在电源负极(或汽车车体的任意金属部位,可就近进行搭铁),另一端依次触及电路 a、b、c、d 接线点,如果灯亮,则说明此接线点至电源正极间无断路;如果灯不亮,则说明此接线点与前一接线点间有断路。用这种方法逐步缩小查找范围,直至找到断路点。

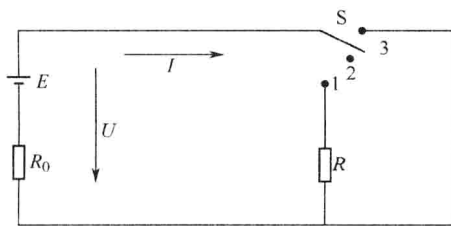


图 1-4 电路的三种状态

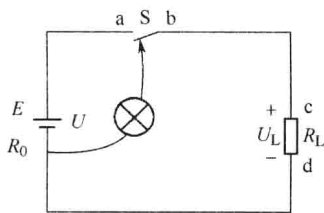


图 1-5 用试灯寻找断路点

## 3. 短路

短路就是电源未经负载而直接由导体构成闭合回路。如图 1-4 所示,开关 S 接通“3”号位置,电源被短接,电路中短路电流  $I = E/R_0$ 。由于电源内阻一般都很小,所以  $I$  极大,此时电源对外输出电压  $U = E - IR_0 \approx 0$ 。

短路电流极大,不仅会损坏导线、电源和其他电气设备,甚至还会引起火灾。因此,短路是电路处于严重的故障状态,必须禁止发生。在电路中,常串接保护装置(如熔断器或自动断路器等),一旦电路发生短路故障,能自动切断电路,起到安全保护作用。一般熔断器是由低熔点的铅锡合金丝做成的,在发生短路时,短路电流产生的热能会使熔丝立即熔断,从而保护了电路中的设备免于烧毁。

需要说明的是:在汽车电路故障诊断维修工作中,为了快速寻找故障点,经常采用短路

的方法，将某两接线柱短路。为了和事故性短路相区别，常把这种短路称为短接。

图 1-6 为汽车起动系统原理简图，若按下起动按钮，起动机不转，经查电源、熔断器 FU 及搭铁线均无故障，于是就可采用短接法查找故障所在位置。具体操作步骤如图 1-7 所示。

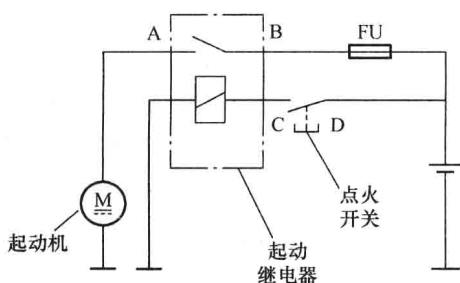


图 1-6 汽车起动系统原理简图

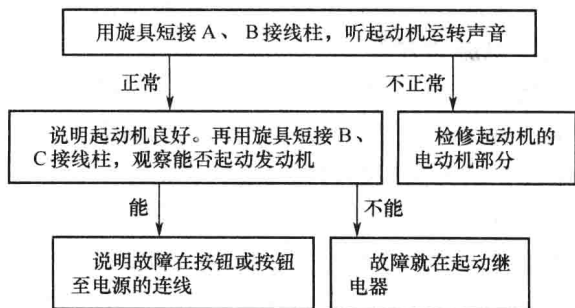


图 1-7 具体操作步骤

## 1.2 电路的基本物理量

### 1.2.1 电流

#### 1. 电流的定义及表达式

电流是电荷在电场力的作用下定向运动形成的。例如，在金属导体中，自由电子在电场力的作用下定向运动形成电流，而在电解液（如蓄电池）或者被电离的气体中，正、负离子在电场力的作用下相反运动形成电流。因此，电流的大小和方向都与电荷有关。

电流的定义为：单位时间内通过导体横截面的电荷称为电流，用字母  $I$  表示。若在一定时间  $t$  内通过导体横截面的电荷为  $Q$ （单位为库[仑]（C）），则通过该截面的电流为二者之比，即

$$I = \frac{Q}{t}$$

电流可分为直流电流和交流电流两大类。直流电流是指方向和时间不作周期性变化的电流，但电流大小可能不固定，而产生波形。直流电流记作 DC（Direct Current），量符号用大写字母表示。交流电流是指大小和方向随时间作周期性变化的电流，交流电流记作 AC（Alternating Current），量符号用小写字母表示。因此上式为直流的表达式。交流的表达式为

$$i = \frac{dq}{dt}$$

式中  $dq$ —— $dt$  时间内通过导体横截面的电荷。

在国际单位制中，电流的单位是安[培]（A）。常用的电流单位还有毫安（mA）、微安（ $\mu\text{A}$ ）。

$$1\text{mA} = 10^{-3}\text{A}$$

$$1\mu\text{A} = 10^{-6}\text{A}$$

习惯上规定，正电荷定向运动的方向为电流的方向。在金属导体中电流的方向与自由电子运动的方向相反；在电解液中电流的方向与正离子运动的方向相同，与负离子运动的方向相反。

实际电路中的电流大小可以用电流表来测量。测量时必须把电流表串联在被测电路中，并使电流从电流表的正极流入，负极流出，如图 1-8 所示。

2. 电流的方向

电流的方向(实际方向)定义为正电荷的运动方向。在简单直流电路中，电流的实际方向很容易确定，但是在复杂的直流电路中，某一段电路中的电流方向有时难以判定；对于交流电路，其方向还随时间而变，在电路上也无法用一个箭头表示它的实际方向。为此，在分析计算电路时，经常任选一个方向作为电流的参考方向。所选的电流参考方向有可能与实际方向相同，也可能相反。若相同，则根据参考方向计算出来的电流为正值，如图 1-9a 所示；若相反，则根据参考方向计算出来的电流为负值，如图 1-9b 所示。因此，参考方向与实际方向的关系不同，电流的正负值也不同。

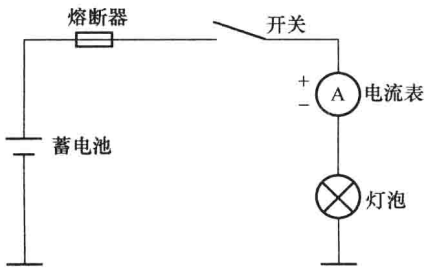


图 1-8 电流的测量

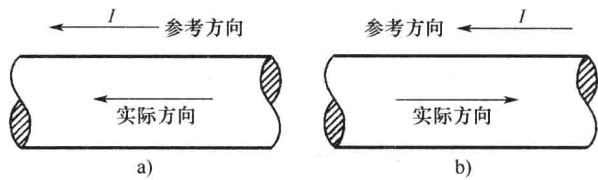


图 1-9 电流的参考方向与实际方向

a) 同方向 b) 反方向

为了避免重复，在没有特别指明的情况下，电路图上所标注的电流方向都是其参考方向。此外，电流的参考方向除用箭头表示外，还可用双下标表示，如电流  $I_{ab}$  表示参考方向由 a 指向 b。

1.2.2 电压、电位和电动势

1. 电压和电动势

(1) 电压和电动势的定义及表达式 在图 1-10 中，a、b 是电源的正、负极，a 为正极带正电荷，b 为负极带负电荷。正、负电荷相互作用在电极 a、b 之间形成电场，其方向由 a 指向 b。如果用导体(连线和负载)将 a 和 b 连接起来，则在电场力的作用下，正电荷将由 a 向 b 运动，在此过程中，电场力做功。为了衡量电场力做功的本领，引入电压这一物理量。在电路中，a、b 两点间的电压  $U_{ab}$  在数值上等于电场力将单位正电荷从 a 点移到 b 点所做的功。设由 a 到 b 电场力做的功为  $W$ ，被移动的电荷量为  $Q$ ，则二者之比就是 a、b 间的电压，即

$$U_{ab} = \frac{W}{Q}$$

电压有直流和交流之分，上式为直流电压的表达式，交流电压要用电能的变化量  $dw$  与电荷的变化量  $dq$  之比表示，即

$$U_{ab} = \frac{dw}{dq}$$

在图 1-10 中, 正电荷在电场力的作用下, 从正极 a 向负极 b 移动, 在导体中形成电流。正电荷到达负极 b 后, 就要与负极 b 的负电荷中和, 使电极间的电场减弱, 电流相应减小。如果中和过程持续下去, 电极间的电场逐渐减小到零, 电流减小到中断。为了使电流持续不断并保持稳定, 在电源内部必须具有一种力, 它能把正电荷从负极 b 推到正极 a, 使电极间始终维持稳定的电场强度。所有的电源都具有这种力, 在电池中, 这种力是由化学反应产生的化学力, 而在发电机中, 这种力是由电磁作用产生的电磁力。由于这种力存在于电源内部, 因而称为电源力。电源力在推动正电荷移动时会做功。因此, 为了衡量电源力做功的能力, 引入了电动势这一物理量。

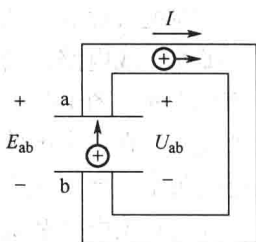


图 1-10 电荷的回路

电源的电动势  $E_{ba}$  在数值上等于电源力将单位正电荷从电源的负极 b 经电源内部移到正极 a 所做的功。设由 b 到 a 电源力做的功为  $W$ , 被移动的正电荷量为  $Q$ , 则它们的比值, 就是电动势  $E_{ba}$ , 即

$$E_{ba} = \frac{W}{Q}$$

电压和电动势的单位相同, 标准单位都是伏(V)。1V 就是电源力把 1C 的电荷从一点移至另一点做 1J 的功。其他常用单位还有千伏(kV)、毫伏(mV)。它们与伏(V)之间的换算关系为

$$1\text{kV} = 10^3\text{V}$$

$$1\text{V} = 10^3\text{mV}$$

(2) 电压和电动势的方向 电压和电动势都是标量, 但在分析电路时, 和电流一样, 也说它们具有方向性。电压的实际方向规定为由高电位端指向低电位端, 即为电位降落的方向。如在图 1-10 中 a 端电位高(用“+”号表示), b 端电位低(用“-”号表示), 则电压的方向为由 a 指向 b。电动势的方向与电压的方向相反, 规定为由电源的低电位端指向高电位端, 即电位升高的方向。如在图 1-10 中 b 端电位低(用“-”号表示), a 端电位高(用“+”号表示), 则电动势的方向为由 b 指向 a。b 端为电源的负极, a 端为正极, 因此电动势的方向为电源的负极指向正极的方向。

电压、电动势的参考方向除用“+”“-”号表示外, 也可用双下标表示。以电压为例, a、b 间的电压  $U_{ab}$ , 其参考方向是由 a 指向 b。如果参考方向选为由 b 指向 a, 则为  $U_{ba}$ ,  $U_{ab} = -U_{ba}$ 。

## 2. 电位

物体处在不同的高度, 具有不同的位能(势能); 相对高度越大, 位能就越大。例如, 水总是从高的地方流向低的地方, 也就是从高水位流向低水位; 水位高的地方位能高, 水位低的地方位能低。电也是如此, 电荷在电路中各点所具有的能量一般也是不等的。正电荷从高电位流向低电位, 而负电荷则是从低电位流向高电位。

实际中, 为了便于分析和维修电路, 通常需要选定某一点作为参考点, 这样电路中某点与参考点之间的电压就称为该点的电位。参考点的电位通常规定为零, 所以又叫做零电位点。电